

527205

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
25. März 2004 (25.03.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/025823 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H02P 9/00**

MÜLLER, Robert [DE/DE]; An der Falkenwiese 10 A,
23564 Lübeck (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2002/010116

(74) **Anwalt: VONNEMANN KLOIBER LEWALD HÜB-
NER**; An der Alster 84, 20099 Hamburg (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:
10. September 2002 (10.09.2002)

(81) **Bestimmungsstaaten (national):** JP, US.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** europäisches Patent (AT,
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,
IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR).

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(71) **Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): DEWIND GMBH** [DE/DE]; Seelandstrasse 1, 23569
Lübeck (DE).

Veröffentlicht:
— mit internationalem Recherchenbericht

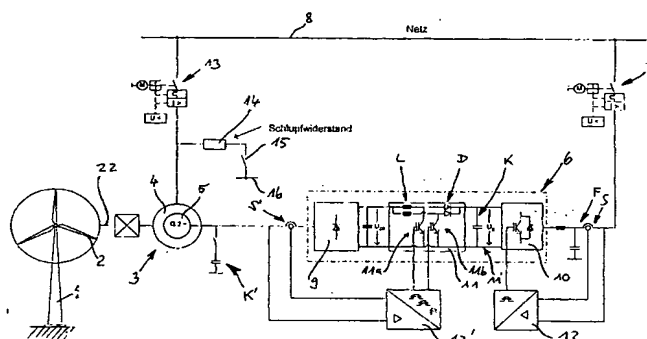
(72) **Erfinder; und**

(75) **Erfinder/Anmelder (nur für US): WILLISCH, Wolf**
[DE/DE]; Grömitzer Weg 12, 22147 Hamburg (DE).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der
PCT-Gazette verwiesen.

(54) **Title:** OPERATING METHOD FOR A WIND TURBINE WITH A SUPERSYNCHRONOUS CASCADE

(54) **Bezeichnung:** BETRIEBSVERFAHREN FÜR WINDENERGIEANLAGE MIT ÜBERSYNCHRONER KASKADE



(57) **Abstract:** The invention relates to a wind energy turbine with a rotor that is driven by the wind, preferably comprising one or more rotor blades, whose angle can be adjusted, a generator that is directly or indirectly connected to the rotor for generating electric energy, said generator being configured as an asynchronous generator with a supersynchronous converter cascade in the rotor circuit for a slip-variable generator operation, enabling a power output of the generator at variable rotor speeds, and a management system, which is configured to regulate the rotor speed in a predetermined wind-speed range. To improve the energy yield, the supersynchronous converter cascade in the rotor circuit is configured to feed the slip power into the grid. To achieve this, the supersynchronous converter cascade has a d.c. voltage intermediate circuit that is equipped with a step-up controller. The latter is configured as IGBT switches with 180° phase shifting in relation to the rotor voltage. The invention also relates to a method for regulating the power output of the wind turbine, according to which the slip is regulated and the slip power is fed into the grid.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft eine Windenergieanlage mit einem vom Wind antreibbaren Rotor, vorzugsweise mit einem oder mehreren Winkel verstellbaren Rotorblättern, einem mit dem Rotor direkt oder indirekt verbundenem Generator zur Erzeugung elektrischer Energie, der als Asynchrongenerator mit übersynchroner Stromrichter-kaskade im Rotorkreis für einen schlupfvariablen Generatorbetrieb ausgebildet ist, so

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2004/025823 A1



das die Leistungsabgabe des Generators bei variabler Rotorendrehzahl möglich ist, und einem Betriebsführungssystem, das innerhalb eines vorgegebenen Windgeschwindigkeitsbereichs die Rotorendrehzahl regelnd ausgebildet ist. Zur Verbesserung der Energieausbeute ist vorgesehen, dass die übersynchrone Stromrichter-kaskade im Rotorkreis zur Einspeisung der Schlupfleistung in das Netz ausgebildet ist. Zu diesem Zweck weist die übersynchrone Stromrichter-kaskade einen Gleichspannungszwischenkreis mit einem Hochsetzsteller auf. Diese sind als IGBT -Schalter mit 180 Grad Phasenverschiebung zur Rotorspannung schaltend ausgebildet. Ausserdem betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Regelung der Leistungsabgabe der Windenergieanlage in dem der Schlupf geregelt wird, wobei die Schlupfleistung ins Netz eingespeist wird.

Betriebsverfahren für Windenergieanlage mit übersynchroner Kaskade

BESCHREIBUNG

Die Erfindung betrifft eine Windenergieanlage mit einem vom Wind antreibbaren Rotor, vorzugsweise mit einem oder mehreren Winkel
5 verstellbaren Rotorblättern, einem mit dem Rotor direkt oder indirekt verbundenem Generator zur Erzeugung elektrischer Energie, der als Asynchrongenerator mit übersynchroner Stromrichter-kaskade im Rotorkreis für einen schlupfvariablen Generatorbetrieb ausgebildet ist, so daß die Leistungsabgabe des Generators bei variabler Rotorendrehzahl
10 möglich ist, und einem Betriebsführungssystem, das innerhalb eines vorgegebenen Windgeschwindigkeitsbereichs die Rotorendrehzahl, vorzugsweise unter Verstellen der Rotorblattwinkel, regelnd ausgebildet ist.

Außerdem betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Regelung der
15 Leistungsabgabe einer Windenergieanlage indem der Schlupf geregelt wird.

Eine gattungsgemäße Anlage ist aus der älteren Anmeldung der Anmelderin DE 10117212.5 bekannt.

Solche Windenergieanlagen, die mit variabler Rotordrehzahl und variablen
20 Rotorblattwinkeln arbeiten, erwirtschaften mehr elektrische Energie als Anlagen, die mit einer einzigen festen Rotordrehzahl und fest vorgegebenen Rotorblattwinkeln arbeiten. Üblicherweise arbeitet man mit variabler Drehzahl im Bereich sehr geringer Windgeschwindigkeiten, wobei die Rotorblätter einen großen Winkel gegenüber dem einfallenden
25 Wind einnehmen, der nur wenig kleiner ist als 90 Grad. Dieser Rotorblattwinkel wird bei zunehmenden Windgeschwindigkeiten zunächst nicht verändert, bis die Windgeschwindigkeit ausreicht, um den Rotor mit Nenndrehzahl zu drehen, wobei die Windenergieanlage ihre Nennleistung

abgibt. Die Leistungsabgabe nimmt also ausgehend von einer sehr kleinen Leistung bei einer Mindestwindgeschwindigkeit zusammen mit der Rotordrehzahl zu, bis die Nennleistung erreicht ist. Bei weiter zunehmender Windgeschwindigkeit wird nunmehr die Nennleistung und

5 die Nenndrehzahl möglichst konstant gehalten, indem die Rotorblätter immer weiter in Windrichtung verstellt werden, bis die Windgeschwindigkeit über eine Abschaltgeschwindigkeit ansteigt. Hier wird die Windenergieanlage abgeschaltet, indem die Rotorblätter vollkommen in Windrichtung gedreht werden, so daß die Rotorblattwinkel

10 gegenüber der Windrichtung etwa null Grad betragen. Dadurch wird der Rotor abgebremst. Die Abschaltung bei sehr hohen Windgeschwindigkeiten ist notwendig, weil die Belastung der Windenergieanlage im Betrieb bei Starkwind, insbesondere bei Böen, so groß werden kann, daß Beschädigungen auftreten.

15 Mit zunehmender Leistung und Anzahl solcher Windenergieanlagen bereitet der Ausgleich kurzzeitiger Leistungsschwankungen in den EVU immer größere Schwierigkeiten. Deshalb werden die Anforderungen nach der Qualität des eingespeisten Stromes immer höher.

Zu diesem Zweck sind geeignete Steuerungen für asynchrone

20 Generatoren entwickelt werden. Solch ein asynchroner Generator erreicht durch entsprechende Computersteuerung einen variablen Schlupf von bis zu 10 %, das bedeutet, daß der Rotor und Generator eine Schwankung von 10 % in der Drehzahl bei Windböen zulassen. Bei starken Winden hält der Generator die Stromerzeugung konstant auf Nennleistung. Die

25 Elastizität im System minimiert die Beanspruchung der vitalen Komponenten der Windenergieanlage und verbessert die Qualität des Stroms, der in das Stromnetz eingespeist wird.

Bei dieser bekannten Betriebsweise der Windkraftanlage mit einem Drehstromgenerator ist die Drehzahlanpassung für eine gleichförmige Netzeinspeisung bei böigen Wind durch einen veränderlichen Schlupf mit einem pulsgesteuerten Widerstand im Rotorkreis verwirklicht. Die
5 Rotorschlupfleistung bleibt ungenutzt und wird in Wärme umgesetzt.

Ein weiteres bekanntes Konzept ist die übersynchrone Kaskade für einen asynchronen Generator mit Schleifringen. Die gleichgerichtete Schlupfleistung wird dabei über einen netzgeführten Wechselrichter in das Netz gespeist. Nachteilig bei dieser Anwendung sind starke
10 Pendelmomente der erzeugten Stromschwingungen im Generator, ein hoher Blindleistungsbedarf und ein mögliches Wechselrichterkippen bei Netzausfall.

Ein anderes, aus US-A-6,137,187 bekanntes Verfahren einer Kaskade, ist die Regelung der Rotorströme mit einem Spannungszwischenkreis-
15 Umrichter nach einem feldorientierten Verfahren für einen doppelt gespeisten Drehstromgenerator zur Nutzung eines unter- und übersynchronen Drehzahlbereiches. Die feldorientierten Regelungsverfahren des doppelt gespeisten Asynchrongenerators sind problematisch bei kurzen Spannungseinbrüchen im Netz und bei
20 Netzkurzschluß.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Windenergieanlage vorzuschlagen, die eine höhere Qualität des eingespeisten Stromes bereitstellt, sowie ein Verfahren zum Betrieb einer solchen Anlage. Das Verfahren zum Betrieb der Windkraftanlage soll robust und kostengünstig arbeiten und besonders
25 in störanfälligen Netzen eingesetzt werden können. Insbesondere ist es eine weitere Aufgabe der Erfindung ein Verfahren anzugeben, das die wirtschaftliche Erzeugung elektrischer Energie auch bei schwachen Wind ermöglicht.

Die Verrichtungsaufgabe wird bei einer gattungsgemäßen Anlage dadurch gelöst, daß die übersynchrone Stromrichter-kaskade im Rotorkreis zur Einspeisung der Schlupfleistung in das Netz ausgebildet ist. Die Schlupfleistung wird also erfindungsgemäß in das Netz eingespeist. Der Betrieb der Windkraftanlage wird dadurch wirtschaftlicher.

Dies wird vorteilhafterweise dadurch erreicht, daß die übersynchrone Stromrichter-kaskade einen Gleichspannungszwischenkreis aufweist, der als Hochsetzsteller ausgebildet ist.

Dabei ist mit Vorteil vorgesehen, daß der Hochsetzsteller mit einer Frequenz schaltend ausgebildet ist, die ein Vielfaches, vorzugsweise im Bereich zwischen dem 10 bis 100 fachen, der Netzfrequenz beträgt.

Der Hochsetzsteller kann eine Pulsweitenmodulation aufweisen oder aus IGBT-Schaltern mit variabler Frequenz schaltbar ausgebildet sein. Eine in Abhängigkeit der Rotorströme, -frequenz und -spannungen gesteuerte Pulsweitenmodulation der IGBT-Schalter steuert eine der Netzspannung angepaßte Zwischenkreisspannung für den netzseitigen Pulsumrichter.

Zur Vermeidung von Stromüberschwingungen der Rotorströme werden die IGBT-Schalter vorteilhaft mit variabler hoher Schaltfrequenz und 180 Grad phasenverschoben getaktet, um die schlupfabhängige Welligkeit der gleichgerichteten Rotorspannung nachzufahren.

Mit Vorteil ist vorgesehen, daß der Stator bei einer niedrigen Windgrenzgeschwindigkeit sich kurzschließend, vorzugsweise über einen dreiphasigen Schlupfwiderstand, und sich vom Netz trennend ausgebildet ist. Der Generator kann dann auch noch bei geringen Windgeschwindigkeiten als einfacher Asynchrongenerator Leistung ins Netz liefern.

Bei einem gattungsgemäßen Verfahren wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß die Schlupfleistung in das Netz eingespeist wird.

Dabei wird vorteilhafter Weise die drehzahlabhängige, gleichgerichtete Rotorspannung des Generators mit den Hochsetzstellern auf das Niveau
5 der Netzspannung angehoben.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens ist, wenn die Leistungsabgabe der Stromrichter-kaskade ins Netz durch eine Pulsweitenmodulation gesteuert wird.

Zur Qualität des Netzes kann vorteilhaft beigetragen werden, wenn die
10 Einspeisung der Zwischenkreisleistung ins Netz an den Blindenleistungsbedarf des Netzes angepaßt erfolgt.

Mit Vorteil ist vorgesehen, die Schaltung des Zwischenkreisstromes durch die beiden Hochsetzsteller 180 Grad phasenversetzt zueinander, vorzugsweise pulsweitenmoduliert und/oder frequenzvariabel, erfolgt, um
15 Rückwirkungen von Stromüberschwingungen auf den Generator, resultierend aus der Welligkeit der gleichgerichteten, schlupfabhängigen Rotorspannung U_{zs} , zu minimieren.

Die Energieausbeute kann vorteilhaft dadurch gesteigert werden, daß der Drehstromgenerator bei normalen Windverhältnissen im Normalbetrieb
20 mit der übersynchronen Kaskade mit dem Hochsetzsteller betrieben wird und bei geringem Wind durch Trennen seines Stators vom Stromnetz und Kurzschließen desselben über einen dreiphasigen Schlupfwiderstand zu einer einfachen Asynchronmaschine umgeschaltet und als solche betrieben wird.

25 Dies gilt insbesondere, wenn der Asynchrongenerator mit den Kondensatoren selbsterregend gefahren wird und frequenzvariable in Abhängigkeit der Rotorumdrehungen seine elektrische Energie über den

Gleichrichter und den Hochsetzsteller in die Zwischenkreiskondensatoren speist, und der Pulsumrichter die erzeugte Energie in das Stromnetz einspeist.

Insbesondere ist es vorteilhaft, wenn, sobald die mechanische Leistung
5 die elektrische Leistung des Pulsumrichters übersteigt, der Generator mit dem Stator synchronisiert und mit dem Stromnetz verbunden wird, und die übersynchrone Schlupfleistung mit der Kaskadenanordnung in das Netz gespeist wird.

Schließlich kann auf besondere Widerstände dadurch verzichtet werden,
10 daß mindestens ein Kabel von dem vorzugsweise in einer Gondel angeordneten Generator zu einem Schaltschrank in einem Turmfuß geführt ist und als Schlupfwiderstand wirken.

Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der
15 Zeichnungen. Darin zeigen:

- Figur 1: eine schematische Darstellung einer für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignete erfindungsgemäße Windenergieanlage;
- 20 Figur 2: ein Diagramm mit einer normierten Darstellung der erzeugten Leistung in Abhängigkeit von der Drehzahl und
- Figur 3: eine schematische Darstellung einer für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignete erfindungsgemäße Variante der Windenergieanlage.

Die dargestellte erfindungsgemäße Windenergieanlage weist einen im
25 Erdboden verankerten Mast 1 und einen an der Oberseite des Mastes 1 montierten Rotor 2 mit drei Rotorblättern auf. Die Rotorblattwinkel sind

- gegenüber ihrer Längsachse verstellbar ausgebildet. Der Rotor 2 ist über ein Getriebe mit einem elektrischen Asynchrongenerator 3 mechanisch verbunden. Der Ständer 4 des Generators 3 ist elektrisch mit dem Netz 8 verbunden. Dabei sind Netzfrequenz und im Ständer erzeugte Frequenz
5 miteinander synchronisiert. Der Läufer 5 des Generators 3 wird über die Leitungen mit der Umrichteranordnung 6 verbunden, welche ihrerseits mit den Leitungen zwischen Ständer 4 und Netz 8 in Verbindung steht. Die vom Generator erzeugte Schlupfleistung wird mit der Umrichteranordnung 6 in das Netz eingespeist. Die Schlupfleistung des Rotors und damit die
10 Drehzahl wird variabel gesteuert. Die vom Generator 3 in das Netz 8 mit geringen Schwankungen einzuspeisende Leistung wird von einem nicht gezeigten aber dem Fachmann bekannten Betriebsführungssystem erreicht, welches die Rotordrehzahl und den Rotorblattwinkel regelt. Der Stator 4 des Drehstromgenerators 3 kann entweder über einen ersten
15 Schalter 13 mit dem Stromnetz 8 oder alternativ über einen dreiphasigen Schlupfwiderstand 14 und einen zweiten Schalter 15 zu einer kurzgeschlossenen Wicklung elektrisch verbunden werden. Im vorliegenden Schaltbild ist dieser Ständerkurzschluss mit dem Bezugszeichen 16 versehen.
- 20 Der Rotor 5 ist elektrisch mit einem Umrichter 6 verbunden, der seinerseits über einen dritten Schalter 7 mit dem Stromnetz 8 verbunden oder von diesem getrennt werden kann.

Der Umrichter 6 besteht aus einem Gleichrichter 9, dem Pulswechselrichter 10 sowie dem Hochsetzsteller 11, die über einen
25 Gleichspannungszwischenkreis 11' elektrisch miteinander verbunden sind. Verschiedene Betriebszustände des Umrichters 6 werden mittels zweier Steuervorrichtungen 12 und 12' für die Frequenz- und Spannungssteuerung des beiden Pulswechselrichters 10 und Hochsetzstellers 11 hergestellt.

- Erfindungsgemäß wird der Einsatz der übersynchronen Kaskade für den Drehstromgenerator 3 der Windkraftanlage mit zwei Hochsetzstellern 11a und 11b (Boost-Wandler) im Spannungszwischenkreis 11' ausgeführt. Die Spannungen des Rotors 5 werden über einen dreiphasigen ungesteuerten Gleichrichter 9 in eine schlupfabhängige Gleichspannung umgewandelt. Die geglättete Gleichspannung U_{zs} wird über zwei Induktivitäten und zwei IGBT-Schalter hochgesetzt auf eine Spannung U_z . Die IGBT-Schalter 11a und 11b laden die Induktivitäten L auf eine Spannung U_L , die Dioden D sperren jeweils. Nach Erreichen eines vorgebbaren Stromes werden die IGBT-Schalter 11a und 11b geöffnet und an der Induktivität L eine Spannung U_Z erzwungen mit der die Zwischenkreiskondensatoren K aufgeladen werden. Ein 6-pulsiger Umrichter 10 taktet die Zwischenkreisenergie überschwingungsarm über ein Netzfilter F in das Stromnetz.
- Zur Vermeidung von Stromüberschwingungen der Rotorströme werden IGBT-Schalter 11a und 11b mit variabler hoher Schaltfrequenz und 180 Grad phasenverschoben getaktet, um die schlupfabhängige Welligkeit der gleichgerichteten Rotorspannung U_{zs} nachzufahren. Eine in Abhängigkeit der Rotor-Ströme, -Frequenz und -Spannungen durch Steuervorrichtung 12' gesteuerte Pulsweitenmodulation der IGBT-Schalter steuert eine der Netzspannung angepaßte Zwischenkreisspannung U_z für den netzseitigen Pulsumrichter 10.

- Die übersynchrone Kaskade ist also mit zwei 180 Grad phasenverschobenen Hochsetzstellern 11a und 11b im Spannungszwischenkreis 11' ausgeführt, die die gleichgerichtete Rotorspannung auf eine höhere Zwischenkreisspannung U_z hochsetzen, die über einen Pulsumrichter 10 und über ein Netzfilter F in das Stromnetz 8 eingespeist wird.

Bei normalen Windverhältnissen wird der Drehstromgenerator 3 im Normalbetrieb mit der übersynchronen Kaskade mit dem Hochsetzsteller 11 betrieben und bei geringem Wind durch Trennen seines Stators 4 vom Stromnetz 8 und Kurzschließen desselben über einen dreiphasigen Schlupf Widerstand 14 zu einer einfachen Asynchronmaschine umgestaltet und als solche betrieben.

Dieser asynchrone Generator wird mit den Kondensatoren K' selbsterregt gefahren und speist frequenzvariabel seine elektrische Energie über den sechspulsigen ungesteuerten Gleichrichter 9 und dem nachgeschalteten Hochsetzsteller 11 in die zwischen Kreiskondensatoren K , der Pulsumrichter 10 speist die erzeugte Energie in das Stromnetz 8 ein. Die Steuervorrichtung 12 steuert den Hochsetzsteller 11 pulsweitengesteuert und frequenzvariabel in einer Weise an, daß drehzahlabhängige Welligkeit der Generatorspannung auf eine dem Netz angepaßte Zwischenkreisspannung U_z anhebt. Die Zwischenkreise Energie wird über den Pulsumrichter 10 mit dem Steuergerät 12 sinusförmig in das Netz eingespeist.

Der Asynchrongenerator wird dabei vorteilhaft mit geringem Eisenverlusten gefahren. Elektrische Energiegewinnung wird mit diesem Verfahren mit einem besseren Wirkungsgrad bei niedrigeren Windgeschwindigkeiten gefahren, als mit dem Drehstromgenerator, dessen Stator 4 mit dem Netz 8 verbunden ist. Übersteigt die mechanische Leistung die elektrische Leistung des Pulsumrichters 10, wird der Generator mit dem Stator 4 synchronisiert mit dem Stromnetz 8 verbunden und die übersynchrone Schlupfleistung mit der Kaskadenanordnung in das Netz gespeist.

Im Diagramm der Figur 2 ist auf der Abszisse eine Drehzahl n aufgetragen, die auf eine Nenndrehzahl n_N normiert ist. Es spielt keine

Rolle, ob es sich dabei um die Drehzahl des Propellers 2 oder die des Rotors 5 handelt, denn diese beiden Drehzahlen unterscheiden sich höchstens um einen konstanten Faktor, der durch ein ggf. zwischengeschaltetes starres Übersetzungsgetriebe bedingt sein kann.

- 5 Der konstante Faktor wird aber durch die Normierung des Maßstabs der Abszisse auf die Nenndrehzahl eliminiert.

Auf der Ordinate des Diagramms von Figur 2 ist eine auf eine Nennleistung P_N normierte elektrische Leistung P des Drehstromgenerators 3 aufgetragen, die dieser an das Stromnetz 8
10 abgeben kann. Die Leistungskurve des Diagramms besteht aus vier gut unterscheidbaren Abschnitten 17, 18, 19, 20.

Bei genügend starkem Wind wird die Windenergieanlage im Abschnitt 17 betrieben. Dabei wird die für die Erzeugung der Nennleistung P_N erforderliche Drehzahl n_N überschritten. Durch Verstellen des
15 Anstellwinkels der Propellerblätter 2 wird die tatsächliche Drehzahl n der Windstärke angepasst und dabei durch entsprechende Steuerung des Umrichters 6 mittels der Steuervorrichtung 12, 12' die an das Stromnetz 8 abgegebene Leistung P konstant auf der Nennleistung P_N gehalten. Der Drehstromgenerator 3 wird in diesem Bereich im Normalbetrieb über die
20 Stromrichteranordnung 6 im übersynchronen Kaskadenbetrieb gefahren. Der Normalbetriebszustand ist in der Figur 2 mit DASM bezeichnet.

Bei schwächer werdendem Wind kann die für die Erzeugung der Nennleistung P_N erforderliche Drehzahl n_N nicht mehr gehalten werden. Im Bereich 18 der Leistungskurve fällt daher die tatsächlich abgegebene
25 Leistung P unter die Nennleistung P_N ab und zwar in etwa proportional zur abfallenden Drehzahl n , bis eine minimale Drehzahl erreicht ist, mit der die Windenergieanlage im Normalbetriebszustand DASM noch wirtschaftlich betrieben werden kann. Bei noch schwächeren Windstärken

müsste eine Windenergieanlage ohne das erfindungsgemäße Betriebsverfahren stillgesetzt werden.

Die Erfindung ermöglicht aber den Weiterbetrieb der Windenergieanlage bei sehr schwachem Wind, durch Umschalten in einen Betriebszustand

5 ASM, in dem der Drehstromgenerator 3 als Asynchronmaschine und der Umrichter 6 als Vollumrichter betrieben wird. Dabei wird der Stator 4 durch Öffnen des ersten Schalters 13 vom Stromnetz 8 getrennt und über den Schlupf Widerstand 14 durch Schließen des zweiten Schalters 15 kurzgeschlossen. Somit wird verhindert, daß die Eisenverluste des Stators

10 4 am Stromnetz 8 die gleichzeitig vom Generator erzeugte elektrische Energie überwiegen.

Wie man im Diagramm von Figur 2 erkennen kann, fällt der Abschnitt 20 der Leistungskurve wiederum in etwa proportional mit der Drehzahl ab, allerdings mit einer flacheren Steigung als im Abschnitt 18. Dieser

15 Betriebszustand ASM ermöglicht die wirtschaftliche Energieeinspeisung bei geschlossenem dritten Schalter 7 in das Stromnetz 8 auch noch bei sehr geringen Drehzahlen n , die bei sehr geringen Windstärken erreicht werden. Im Abschnitt 20 der Leistungskurve kann die erfindungsgemäß betriebene Windenergieanlage somit zusätzliche Energie erzeugen, die

20 von einer auf herkömmliche Art betriebene Anlage nicht erzeugt werden kann.

Diese Energiedifferenz, die bei der herkömmlichen Windenergieanlage verloren wäre, kann unter Umständen enorm groß werden. Die Höhe der Differenz hängt im wesentlichen von den Windverhältnissen am Standort

25 der Anlage ab. Je größer die Zeiträume mit schwachen Windverhältnissen sind, desto größer wird die zusätzlich gewonnene Energie.

Die Drehzahlbereiche der beiden Betriebszustände ASM und DASM überschneiden sich in dem in Figur 2 durch Strichelung angedeuteten

Umschaltbereich 21. Der Umschaltpunkt kann dabei je nach dem verwendeten Steueralgorithmus mal bei etwas höheren oder etwas niedrigeren Drehzahlen n liegen. Entsprechend unterschiedlich kann daher auch die zugehörige elektrische Leistung P ausfallen. Der dritte

5 Abschnitt 19 der Leistungskurve stellt daher nicht den tatsächlichen Verlauf dar, sondern ist lediglich als schematische Darstellung des Übergangs zu verstehen.

In Figur 3 ist eine alternative Ausführungsform der erfindungsgemäßen Windenergieanlage dargestellt, bei der der ungesteuerte Gleichrichter 9 in

10 Figur 1 durch einen selbstgeführten Pulsumrichter 10'' ersetzt ist und kein Hochsetzsteller im Zwischenkreis 11' vorhanden ist. Auch hier wird bei dem Drehstromgenerator 3 mit einer übersynchronen Kaskade die gesteuerte Schlupfleistung über einen selbstgeführten Pulsumrichter 10 in das Stromnetz eingespeist. Zur Aussteuerung von sinusförmigen

15 Rotorströmen ist der Pulsumrichter 10'' für die Einspeisung der Schlupfleistung in den Gleichspannungszwischenkreis vorgesehen aus dem durch einen zweiten Pulsumrichter 10 die Schlupfleistung in das Stromnetz 8 eingespeist wird. Zur Ansteuerung der Pulsumrichter 10'' und

20 10 dienen die Steuergeräte 12'' und 12, die mit den Stromsensoren S'' und S verbunden sind.

BEZUGSZEICHENLISTE

	1	Turm
	2	Propeller
	3	Drehstromgenerator
5	4	Stator
	5	Rotor
	6	Umrichter
	7	dritter Schalter
	8	Stromnetz
10	9	Gleichrichter ungesteuert
	10	Pulswechselrichter
	10''	Pulswechselrichter
	11	Hochsetzsteller
	11'	Gleichspannungszwischenkreis
15	11a	Hochsetzsteller
	11b	Hochsetzsteller
	12	Steuervorrichtung
	12'	Steuervorrichtung
	12''	Steuervorrichtung
20	13	erster Schalter
	14	Schlupfwiderstand
	15	zweiter Schalter
	16	Ständerkurzschluß
	L	Induktivität
25	D	Diode
	K, K'	Kondensator
	F	Netzfilter
	U_{zs}	Gleichspannung
	U_z	Spannung hochgesetzt
30	S	Stromsensor
	S'	Stromsensor
	S''	Stromsensor
	17	erster Abschnitt
	18	zweiter Abschnitt

- 19 dritter Abschnitt
- 20 vierter Abschnitt
- 21 Umschaltbereich
- 22 mechanische Verbindung
- 5 P elektrische Leistung
- PN Nennleistung
- n Drehzahl
- nN Nenndrehzahl
- ASM Betrieb als Asynchronmaschine / Vollumrichterbetrieb
- 10 DASMBetrieb als doppeltgespeiste Asynchronmaschine / Normalbetrieb

PATENTANSPRÜCHE

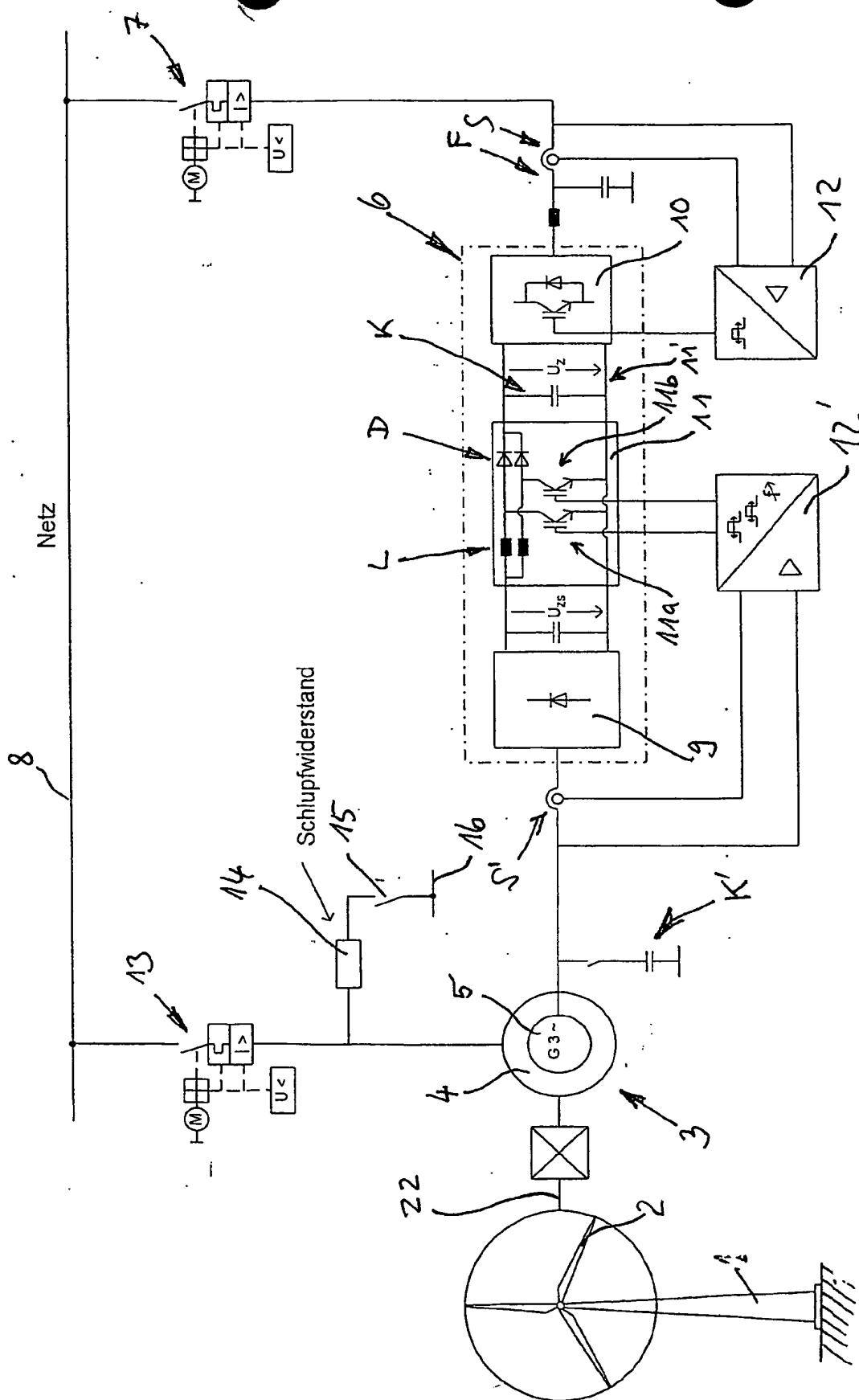
1. Windenergieanlage mit einem vom Wind antreibbaren Rotor, vorzugsweise mit einem oder mehreren Winkel verstellbaren Rotorblättern, einem mit dem Rotor direkt oder indirekt
5 verbundenem Generator zur Erzeugung elektrischer Energie, der als Asynchrongenerator mit übersynchroner Stromrichter-kaskade im Rotorkreis für einen schlupfvariablen Generatorbetrieb ausgebildet ist, so daß die Leistungsabgabe des Generators bei variabler Rotorendrehzahl möglich ist, und einem
10 Betriebsführungssystem, das innerhalb eines vorgegebenen Windgeschwindigkeitsbereichs die Rotorendrehzahl, vorzugsweise unter Verstellen der Rotorblattwinkel, regelnd ausgebildet ist, **dadurch gekennzeichnet, daß** die übersynchrone Stromrichter-kaskade im Rotorkreis zur Einspeisung der
15 Schlupfleistung in das Netz ausgebildet ist.
2. Windenergieanlage nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die übersynchrone Stromrichter-kaskade einen Gleichspannungszwischenkreis aufweist, der als Hochsetzsteller ausgebildet ist.
- 20 3. Windenergieanlage nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Hochsetzsteller mit einer Frequenz schaltend ausgebildet ist, die das Vielfache, vorzugsweise das 10 bis 100 fache, der Netzfrequenz beträgt.
- 25 4. Windenergieanlage nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Hochsetzsteller eine Pulsweitenmodulation aufweist.

5. Windenergieanlage nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Hochsetzsteller aus IGBT-Schaltern mit variabler Frequenz schaltbar ausgebildet ist.
- 5 6. Windenergieanlage nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die IGBT-Schalter der beiden Hochsetzsteller mit 180 Grad Phasenversatz zueinander schaltend ausgebildet sind.
- 10 7. Windenergieanlage nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Stator bei einer niedrigen Windgeschwindigkeit sich kurzschließend, vorzugsweise über einen dreiphasigen Schlupfwiderstand, und sich vom Netz trennend ausgebildet ist.
- 15 8. Verfahren zur Regelung der Leistungsabgabe einer Windenergieanlage indem der Schlupf geregelt wird, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Schlupfleistung in das Netz eingespeist wird.
- 20 9. Verfahren nach Anspruch 8 , **dadurch gekennzeichnet, daß** die Zwischenspannung der Stromrichter-kaskade auf die Netzspannung angehoben und dem Schlupf entsprechend geregelt wird.
- 25 10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9 , **dadurch gekennzeichnet, daß** die Leistungsabgabe der Stromrichter-kaskade ins Netz durch eine Pulsweitenmodulation gesteuert wird.
- 25 11. Verfahren nach Anspruch 8, 9, oder 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Einspeisung der Zwischenkreisleistung ins Netz an den Blindenleistungsbedarf des Netzes angepaßt erfolgt.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 11 , dadurch gekennzeichnet, daß die Schaltung des Zwischenkreisstromes durch die beiden Hochsetzsteller 180 Grad phasenversetzt zueinander, vorzugsweise pulsweitenmoduliert und/oder frequenzvariabel, erfolgt.
- 5
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Drehstromgenerator bei normalen Windverhältnissen im Normalbetrieb mit der übersynchronen Kaskade mit dem Hochsetzsteller betrieben wird und bei geringem Wind durch Trennen seines Stators vom Stromnetz und Kurzschließen desselben über einen dreiphasigen Schlupfwiderstand zu einer einfachen Asynchronmaschine umgeschaltet und als solche betrieben wird.
- 10
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Asynchrongenerator mit den Kondensatoren selbsterregend gefahren wird und frequenzvariabel in Abhängigkeit der Rotorumdrehungen seine elektrische Energie über den Gleichrichter und den Hochsetzsteller in die Zwischenkreiskondensatoren speist, und der Pulsumrichter die erzeugte Energie in das Stromnetz einspeist.
- 15
- 20
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 14 , dadurch gekennzeichnet, daß, sobald die mechanische Leistung die elektrische Leistung des Pulsumrichters übersteigt, der Generator mit dem Stator synchronisiert und mit dem Stromnetz verbunden wird, und die übersynchrone Schlupfleistung mit der Kaskadenanordnung in das Netz gespeist wird.
- 25
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Kabel von dem vorzugsweise

- 18 -

in einer Gondel angeordneten Generator zu einem Schaltschrank in einem Turmfuß geführt ist und als Schlupfwiderstand wirken.

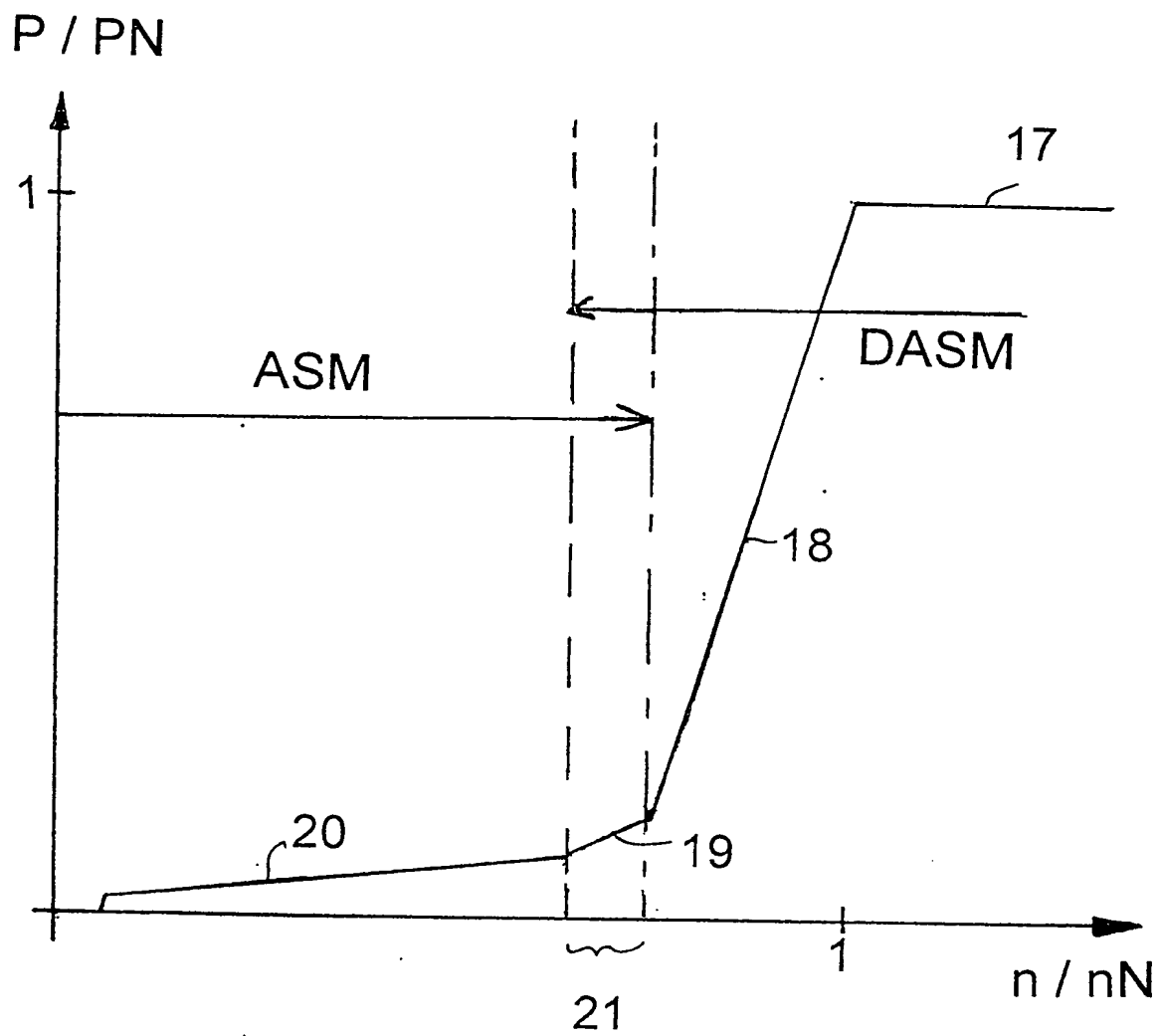


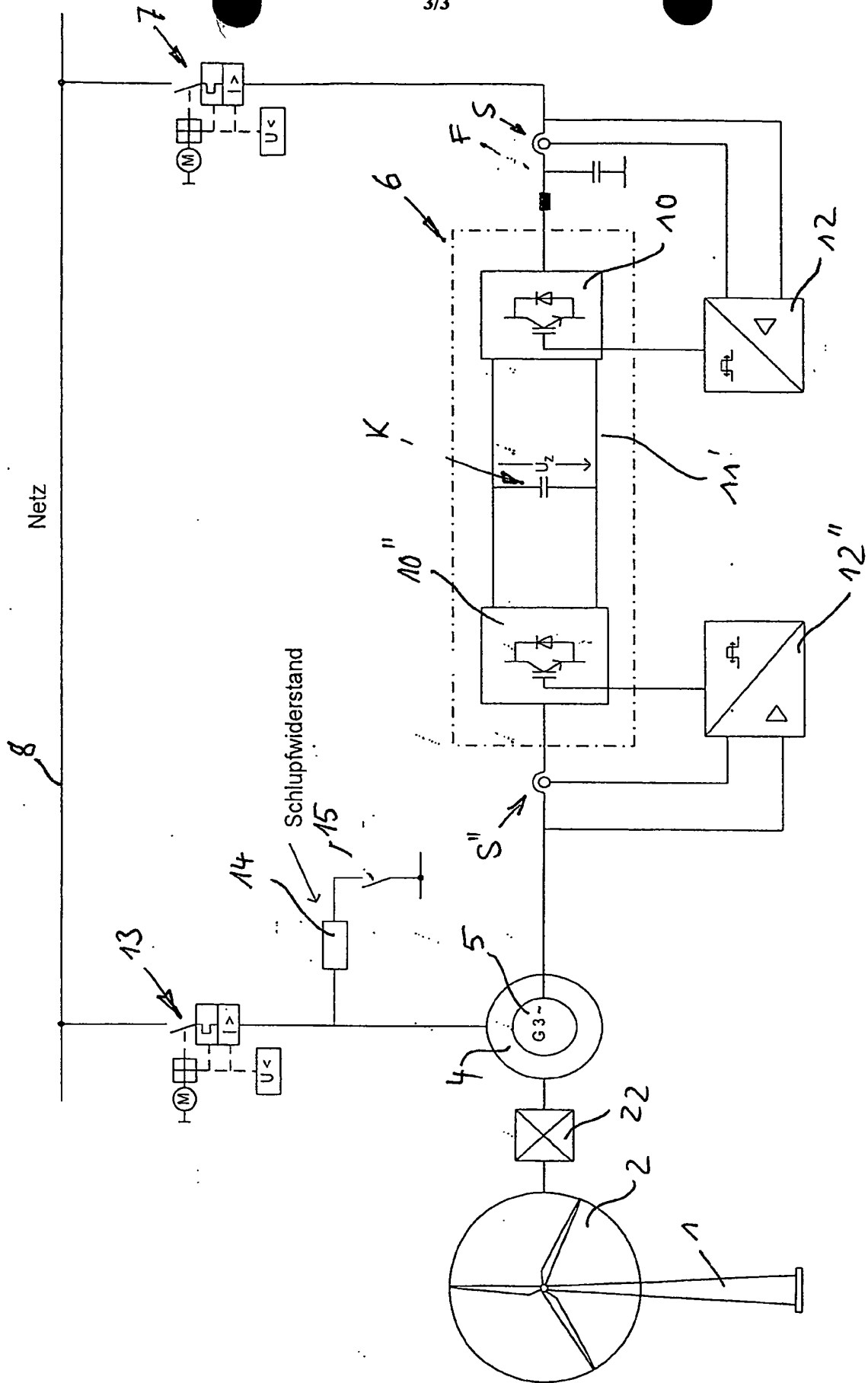
Figur 1

BESTÄTIGUNGSKOPIE

**E
BEST AVAILABLE COPY**

Fig. 2





Figur 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP02/10116

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H02P9/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H02P

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
E	DE 101 17 212 A (DEWIND AG) 10 October 2002 (2002-10-10) cited in the application column 1, line 40 -column 4, line 15; figures 1,2	1,2,8-10
X	DE 197 35 742 A (SIEMENS AG) 25 February 1999 (1999-02-25)	1,2, 7-10,13, 15,16
Y	column 1, line 38 -column 6, line 68; figures 1-6	3-6, 8-12,16
Y	DE 198 45 569 A (BOSCH GMBH ROBERT) 15 April 1999 (1999-04-15) column 2, line 51 -column 5, line 27; figures 1-4	3-6, 8-12,16
	-/--	



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

Z document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

11 June 2003

Date of mailing of the international search report

18/06/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Davis, A

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP02/10116

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
E	<p>WO 03 026121 A (SWE0 EDWIN) 27 March 2003 (2003-03-27) page 14, line 1 -page 40, line 30; figures 1-18</p> <p>-----</p>	1, 2, 8-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/E 02/10116

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 10117212	A	10-10-2002	DE 10117212 A1	10-10-2002
			WO 02081907 A1	17-10-2002
DE 19735742	A	25-02-1999	DE 19735742 A1	25-02-1999
DE 19845569	A	15-04-1999	DE 19845569 A1	15-04-1999
			FR 2769770 A1	16-04-1999
			IT 1302605 B1	29-09-2000
			JP 11196599 A	21-07-1999
WO 03026121	A	27-03-2003	WO 03026121 A1	27-03-2003
			US 2003052643 A1	20-03-2003

PCT/JP2012/10116

IPK 7 H02P9/00

IPK 7 H02P

EPO-Internal

E	DE 101 17 212 A (DEWIND AG) 10. Oktober 2002 (2002-10-10) in der Anmeldung erwähnt Spalte 1, Zeile 40 -Spalte 4, Zeile 15; Abbildungen 1,2	1,2,8-10
X	DE 197 35 742 A (SIEMENS AG) 25. Februar 1999 (1999-02-25)	1,2, 7-10,13, 15,16
Y	Spalte 1, Zeile 38 -Spalte 6, Zeile 68; Abbildungen 1-6	3-6, 8-12,16
Y	DE 198 45 569 A (BOSCH GMBH ROBERT) 15. April 1999 (1999-04-15) Spalte 2, Zeile 51 -Spalte 5, Zeile 27; Abbildungen 1-4	3-6, 8-12,16

— / —

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

'&' Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

18/06/2003

Davis, A

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internat. Aktenzeichen

PCT/E 2/10116

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
E	<p>WO 03 026121 A (SWE0 EDWIN) 27. März 2003 (2003-03-27) Seite 14, Zeile 1 -Seite 40, Zeile 30; Abbildungen 1-18</p> <p>-----</p>	1,2,8-10

INTERNATIONALER RESEARCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die derselben Patentfamilie gehören

Internationales Patentzeichen

PCT/EP 02/10116

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
DE 10117212	A	10-10-2002	DE WO	10117212 A1 02081907 A1	10-10-2002 17-10-2002
DE 19735742	A	25-02-1999	DE	19735742 A1	25-02-1999
DE 19845569	A	15-04-1999	DE FR IT JP	19845569 A1 2769770 A1 1302605 B1 11196599 A	15-04-1999 16-04-1999 29-09-2000 21-07-1999
WO 03026121	A	27-03-2003	WO US	03026121 A1 2003052643 A1	27-03-2003 20-03-2003